

Allumage Terrot 1906

BUT : remplacer le système d'allumage complètement détruit d'une « moto », en fait un vélo assisté, Terrot de **1906** !! Propriété de Didier Rousier, président des Bielles de Jadis, restauration de IGM, l'institut gériatrique des motos.

Moteur suisse Dufaux une recherche internet donne : 200cm³, alésage 62mm, course 70mm, bielle de 156mm , 0,25ch, 21km/h, 1200rpm, carburateur à léchage. Le cylindre est borgne (pas de « joint de culasse », comme dans les chars d'assaut). Comme la moto ne dispose pas de source d'énergie (pas d'alternateur ou dynamo), l'allumage d'origine avec vibreur de Ruhmkorff était alimenté par piles.

Bien entendu le montage devra être KISS (Keep It Simple Stupid) et même HACKISS (hacking + kiss, mot que j'invente pour la circonstance et qui ne décrit pas une variante du haggis : panse de brebis farcie calédonienne des Highlands, mais le hacking - sans esprit de piratage - analyse de l'existant et sa réutilisation à d'autres fins, tel que décrit dans Open Silicium N°4 de l'automne 2011)

L'idée de départ est d'utiliser le volume des piles d'origine, en fait l'extrémité du réservoir, pour y implanter le système.

Cette moto (officiellement « bicyclette assisté à moteur » BAM) ne possède pas d'embrayage, il faut donc prévoir des redémarrages fréquents. Je vais considérer que jusqu'à 120 rpm (2 tour/seconde) on est en phase de démarrage.



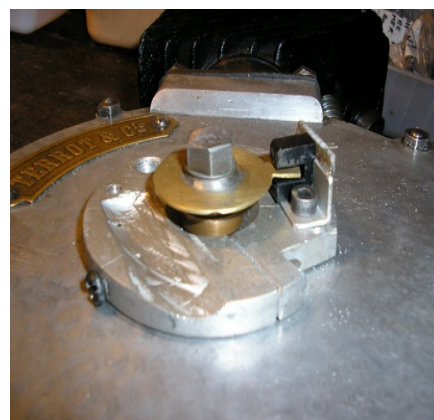
la Terrot 1906 calée par une caisse de vin (Terrot était basé à Dijon, en Bourgogne !)



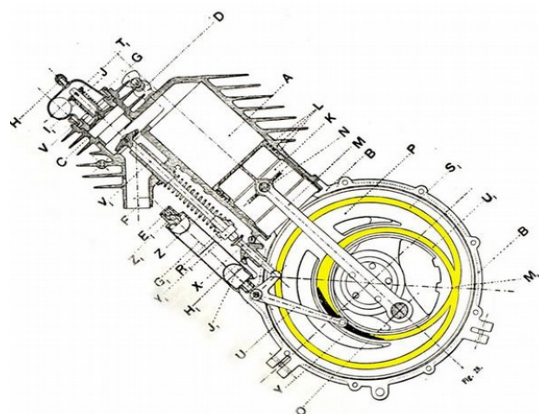
le moteur



premier rupteur (de Mobylette)



le capteur opto en place



coupe moteur

La distribution et la division par deux sont faites astucieusement par doigt glissant alternativement dans les deux épicycloïdes (la pièce noire dans les canaux jaunes qui ne peut revenir dans le canal qu'elle vient de quitter)

La moto devra être prête pour le futur rallye La Balade des Mécanos qui comprend une boucle des clés à molette (des Clayes 78340, à Maulette, 78550), organisé entre autres par l'ami R.

L'utilisation d'un allumage batterie-bobine (ou pile-bobine) présente l'inconvénient d'une consommation électrique importante, surtout lorsque le moteur s'arrête rupteur fermé, au point de surchauffer la bobine et de vider inutilement les piles. La version d'allumage à rupteur voulait utiliser une came modifiée de Mobylette (l'ami R se fait aussi une spécialité de retailler les cames de Mobylette, pour permettre la rotation à l'envers du moteur de quelques types de Mobylettes, et dont on ne trouve plus de cames).

Rappels sur le carburateur à léchage

Il comporte une cuve à niveau constant, avec titillateur (c'est bien le terme consacré) pour les départs à froid. La cuve se trouve suspendue à l'intérieur du boîtier et est léchée par l'air canalisé autour et au-dessus avec quelques fentes que je pense vortigènes (génératrices de vortex, quoi). Un boisseau, cylindrique et percé, sert de commande d'accélérateur. Au passage des nids de poule, plus nombreux en 1906 qu'en 2011, l'essence débordait simplement dans le flux d'air et enrichissait le mélange qu'importe, pas d'écolos à l'époque et fort peu de véhicules.

la cuve et son couvercle (avec le flotteur) du carburateur



Rappels sur l'allumage à trembleur

Utilisé fin 19ème début 20ème siècle, bien connu pour son utilisation dans une voiture-emblème : la Ford T de 1907 à 1927.

Le démarrage à la manivelle se faisait en commutant la source sur un bloc de piles « sèches ». Après démarrage, le chauffeur commutait sur le volant magnétique.

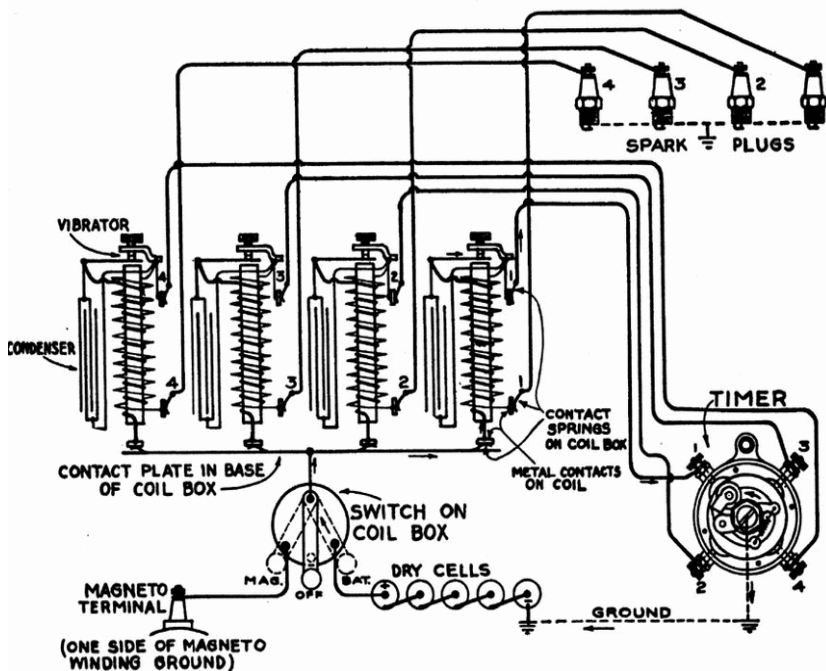
Le circuit à vibreur fonctionnait comme une sonnette avec une lame vibrante

- au repos la lame est en position de contact
- quand on applique la tension, le champ magnétique est créé dans le noyau magnétique en fer divisé (en lamelles ou en assemblage de fils de fer coupés)
- ce champ magnétique attire une pièce magnétisable liée au vibreur (ou la lame du vibreur si elle-même est magnétisable)
- le déplacement du vibreur coupe le courant et donc le champ magnétique
- le vibreur revient en position de repos
- et le cycle continue ...

Le réglage de la pression sur la lame vibrante permet d'ajuster le courant moyen (et la fréquence, donc

la hauteur du son de la vibration qui devait être réglé à 275 Hz, une très bonne oreille était nécessaire).

Bien entendu, le vibreur est relié à un condensateur comme pour l'allumage batterie-bobine.



Allumage Ford T

Illustration from George W. Hobbs and Ben G. Elliott
The Gasoline Automobile, third edition, McGraw-Hill
Book company, Inc. NY 1924, p.163.

L'ensemble est commandé par un interrupteur rotatif (appelé « timer » : contact cylindrique roulant) placé sur l'axe de distribution. L'interrupteur est placé sur l'arbre à came, on a alors un train d'étincelles dans la phase utile (fin de compression). C'est cet interrupteur qui joue le rôle du distributeur moderne sans en posséder les qualités de précision et durabilité car il est sans rupture brusque (accélérée par la forme de la came des rupteurs modernes), au contraire l'éloignement du secteur conducteur se fait en douceur et de plus il n'y a pas de condensateur aux bornes de cet interrupteur ni présence de métaux adaptés à la résistance aux étincelles (cuivre selon les sources auxquelles j'ai eu accès). Lorsque ce distributeur (il y a 4 bobines choisies par cet interrupteur) s'ouvre en phase de conduction de la bobine vibrante, il y a bel et bien création d'une surtension avec étincelle. Le comportement est encore rendu plus complexe par la variation de tension de l'alternateur (celui de la Ford T est appelé flywheel magneto aux US, en France c'est plutôt appelé volant magnétique) en fonction de l'avance à l'allumage choisie par le conducteur. Il y a 8 aimants donc 16 maxis de tension à polarité alternée ce qui laisse augurer d'un réglage pointu avec les moyens de l'époque, pour avoir la tension utile au moment nécessaire pendant la rotation.

Le besoin du trembleur est dû au fait que les piles encaissaient mal un courant important et prolongé et aussi parce que le courant croît drastiquement en cas de saturation magnétique : au moment de l'établissement de la tension, le courant est nul et monte progressivement (mais non linéairement) en raison de la présence de la self – lorsque le noyau magnétique est saturé, le courant n'est plus limité que par la résistance du primaire (et du câblage) et la résistance interne de la pile. La progressivité de montée du courant permet que, si on coupe le courant à temps, il n'atteint pas sa valeur maximale. Les bobines de l'époque ne résistaient pas longtemps au courant max (surtout lorsque la Ford T a été livrée avec batterie plomb-acide en option), le réglage du courant par ajustement du trembleur (souvent à l'oreille en écoutant la fréquence du trembleur) est une solution élégante pour l'époque, surtout comme pour cette moto, que le moteur peut être arrêté, bobine en phase de conduction. La sélection par cylindre roulant, même avec quelques étincelles, permet en plus un autonettoyage des traces d'étincelles.

Constitution du système d'allumage Terrot 1906

- 1 - un capteur, pour synchroniser le système sur une référence angulaire comme le point mort haut (PMH)
- 2 - une source d'énergie : piles
- 3 - un allumage par décharge de condensateur (CDI)
- 4 - un calculateur de point d'allumage

1 - Capteur

Il doit loger dans le volume du capot déjà réalisé de 20mm de hauteur et de 80mm de diamètre, facile !

Choix technologique

dans la grande variété actuelle possible, j'ai choisi la commande optique :

capteur magnétique

(capteur dit inductif) : actuellement sous ce vocable on désigne un capteur à réluctance variable. C'est une bobine traversée par un circuit magnétique comprenant

- un aimant permanent
- un circuit en fer doux
- un entrefer (espace d'air entre partie fixe et partie rotative)
- une pièce mobile magnétique en forme d'engrenages ou un seul ergot mobile (sur certains scooters avec une excroissance à l'extérieur du volant magnétique)

Ce circuit, simple à installer, nécessite idéalement une détection appropriée du signal : le signal généré présente deux pics de tension de sens opposé et un passage à zéro (pic à la transition d'approche ou d'éloignement de la dent de la pointe en fer du capteur, passage à zéro au milieu de la dent). Il me semble que l'on se contente souvent d'une détection de niveau seulement (sensible à la distance, à la perte d'aimantation, à la présence de limailles attirées par l'aimant), mais la plus simple et de loin pour l'électronique. Une vraie détection de position doit utiliser un détecteur crête suivi d'un détecteur de passage au zéro avant la crête suivante. Pour les constructeurs auto, il est bon marché et se monte facilement. Pour caler la distance en fabrication, il suffit d'une cale plastique temporaire, livrée avec le capteur, et qui saute dès la première mise en rotation.

Certains bidouilleurs jouent avec les détecteurs par détection de niveau de Clio, pour les gonfler en inversant les deux fils du capteur. Ce qui signifie bien que la détection prend en compte l'amplitude de la tension et non le passage à zéro, et cette bidouille fait changer les coté actifs des dents et donc le repère du PMH et de la phase des dents.

Un capteur automobile, outre son prix élevé (pour le client final, pas pour Renault) est trop encombrant ici et il me faudrait donc en concevoir, réaliser et en mettre un au point, concevoir, réaliser et mettre au point l'électronique du capteur, peines que j'estime inutiles pour un exemplaire unique.

capteur à effet hall

Source d'ennuis nombreux sur les motos BMW R1100, si l'on en croit le buzz internet, et sur mes deux exemplaires ! Problèmes réglés définitivement pour quelques dixièmes de piastre, au lieu des 1000 ++ réclamées aux collègues équipés de cette machine, au demeurant excellente.

Pas de problèmes particuliers signalés pour le même type et modèle de capteur, sur d'autres motos BMW ou sur voitures.

C'est aussi un montage à réluctance variable d'un circuit constitué par :

- un aimant permanent
- un circuit magnétique de fer doux
- un entrefer de taille fixe puisqu'à l'intérieur du capteur
- une dent ou une cloche en fer doux passant dans l'entrefer
- une cellule à effet hall (et son circuit électronique de mise en forme) à proximité, dans le champ

magnétique

Pour ma réalisation, la difficulté est de maintenir la dent ou la cloche dans la position voulue : elle doit être suffisamment rigide et bien montée pour ne pas se déformer au passage devant l'aimant et venir frotter ! La forme en cloche n'est évidemment pas anodine.

Capteur capacitif

Sensible à tous les métaux même non magnétiques qui font changer la fréquence d'un oscillateur. Nécessite une électronique avec oscillateur et détecteur, trop complexe pour l'application.

Capteur à courants de Foucault

En fait, relativement similaires aux capteurs capacitifs, sensibles à tout métal, même non magnétique, Nécessite un oscillateur qui est perturbé par la proximité du métal, voire jusqu'à l'arrêt de l'oscillateur. Trop complexe pour l'application.

Capteur optique

Nécessite une source de lumière et un élément photosensible

photorésistance : vitesse de réaction faible et surtout vieillissement avec changement important des caractéristiques. De toutes façons, ces capteurs sont maintenant écologiquement interdits en Europe car contenant quelques milligrammes de sulfure de cadmium (CdS) comme élément sensible.

Photodiodes : souvent présentés sous forme de fourche, une branche contient la LED émissive en infrarouge, l'autre branche contient la photodiode (ou le phototransistor). Capteurs rapides, à longue durée de vie. Il faut simplement garantir que le chemin optique ne soit pas obscurci par du cambouis ou autre pollution optique. Il n'y a aucune réaction sur le doigt qui traverse la fourche dans un espace d'environ 2,5mm. Ce doigt peut être dans tout matériau opaque aux infrarouges : papier, plastique, métal, ...

De plus, il n'y a pas à s'occuper de l'interfaçage avec le calculateur, c'est directement compatible au prix de deux résistances (à 0,018€ pièce quand même).

Mon choix est donc une fourche optique (en plus, ce capteur peut coûter moins d'un euro!)

2- Source d'énergie

L'énergie sera fournie par des piles comme à l'origine, voire des accus NiMh.

La pile du CDI sera une pile unique de 1,5V . Pile alcaline impérativement car la tension du CDI est proportionnelle à la tension de cette pile. Pile saline exclue en raison de sa faible capacité, sa résistance interne trop forte et de sa tension de décharge (d'utilisation) non constante. Les accus Ni, NiMh sont proscrits, leur tension de 1,25V en fin de charge est trop faible : c'est ce que je croyais, mais les mesures menées en parallèle montrent maintenant une capacité et une tension suffisantes (voir document annexe sur les mesures de piles AA). Les accus ou piles au lithium ont des tensions trop fortes (plus de 3V par cellule) et détruiront l'électronique de CDI.

La durée de vie est en cours de mesures . Le but à atteindre est une pile maxi par plein d'essence et de ne pas s'embarasser de boîtes de piles. L'allumage batterie-bobine est exclu à cause de sa consommation.

L'autre pile (en fait 4 piles en série) sert de source pour le calculateur. Moins d'exigence pour ces piles car l'électronique sera alimentée et protégée par un régulateur (à un euro quand même). Piles alcalines ou accus NiMh toutefois recommandés, elles dureront longtemps, le calculateur devrait consommer moins de 10 mA, le capteur autant, le régulateur et annexes autant, soit pour une pile alcaline AA bon marché, une durée attendue de 50 heures théoriques. Voir annexe sur la comparaison de piles taille AA.

3 - Le circuit d'allumage CDI

(Capacitive Discharge Ignition, allumage à décharge capacitive, puis par habitude et l'abus de langage subséquent, beaucoup appellent CDI tout type d'allumage électronique), très utilisé dans les motos,

1 : les prix indiqués correspondent à ceux qu'un particulier peut trouver en 2011 notamment kessler-electronic en RFA. C'est pas une pub, mais c'est pour m'éviter de répondre la même chose à tous les solliciteurs !

mobylettes, tondeuses, avions et certaines voitures Saab en dépit des reproches adressés à leur rencontre : étincelle trop brève. ce que j'ai du mal à admettre en voyant le nombre de motos/mobylettes/tondeuses/Saab/avions qui marchent bien avec, et considérant que, dès que le mélange est enflammé (ce qui est l'essence même d'un allumage), continuer l'étincelle dans des gaz déjà brûlés, me semble inutile, la flamme se propage toute seule et aucune action de la bougie n'y peut plus rien. L'argument de la preuve par les motos (et la plupart des avions de tourisme à gros flat-four ou flat-six) où l'absence d'un des deux allumages ralentit effectivement un peu le moteur (ce qui fait partie de la check-list de ces avions) me semble une mauvaise interprétation : ce n'est pas parce que l'allumage est insuffisant à une bougie mais parce que les deux bougies dans ces cas sont éloignées et que l'efficacité optimale du moteur se fait lorsque les deux front de flamme se rejoignent au milieu, alors seulement, la dilatation est motrice ; si une des bougies n'allume pas, le front de flamme doit parcourir le double de la distance pour remplir le volume libre du cylindre et être à même d'appuyer sur le piston, d'où un effet de retard à l'allumage. Le CDI est utilisé par Rotax pour tous ses moteurs aviation, y compris les moteurs certifiés. Par contre il est sûr que le CDI est aussi fortement parasitogène, ce qui est palliable si nécessité absolue, par des blindages électriques câble, bougie et CDI. Le CDI est aussi sensible au test tournevis (« essais » très lourdauds de présence de tension : si y'a étincelle, y'a du jus), essai qui détruit à coup sûr le thyristor. Ces deux raisons, entre autres, ont baissé sa cote.

Un CDI comprend une source de haute tension (300 à 400V environ) reliée à un condensateur et au transformateur élévateur, un interrupteur (fonction assurée par un thyristor) court-circuite le point de sortie du convertisseur (qui doit impérativement pouvoir le supporter) et le condensateur se décharge dans la bougie avec une tension donnée par les 400V et le rapport élévateur du transformateur. Le transformateur est ici la bobine d'allumage classique, faite pour la haute tension de quelques milliers de volts de sortie. Il n'y a pas de stockage d'énergie dans le transformateur, comme dans l'allumage classique. L'énergie est évaluée par la relation $J=1/2 C V^2$ avec l'énergie J en joules, la capacité du condensateur en Farad et la tension V en volts. Le transformateur est ainsi libéré de la contrainte du temps de magnétisation, traduite par le besoin du « dwell » et de la mesure d'écartement des contacts du rupteur. Cet écartement des contacts remplissait aussi la fonction de supporter et de souffler l'étincelle naissante, dans la phase d'écartement des contacts.

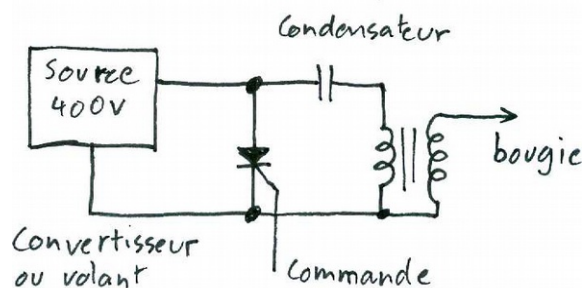


Schéma de base d'un CDI

Des éléments utilisables, de cette nature, se retrouvent dans les **appareils photo jetables** (à 4,90 euros chez Leclerc, c'est ben cher, quand même !) dont on aura jeté tout, sauf le circuit flash. Un tel flash possède un convertisseur continu/continu 350V alimenté par pile 1,5V, un gros condensateur qui se décharge dans un tube-flash au xénon (le circuit générateur résiste donc à ce court-circuit temporaire), le circuit de synchronisation comprend un petit condensateur chargé à partir de la haute tension (limitée à quelques dizaines de volts par un diviseur de tension ou un tube au néon, un vrai, pas un tube fluo communément appelé néon par abus de langage) et qui se décharge par l'interrupteur de synchronisation flash dans un transformateur élévateur ce qui donne quelques kilovolts sur l'électrode d'amorçage du tube-flash et déclenche une réaction en chaîne (l'éclair de flash) montage de même nature que l'allumage CDI. Après modification du flash (élimination du gros condensateur de quelques dizaines de microfarads, neutralisation du tube flash et du circuit d'amorçage, montage d'un condensateur réservoir de 0,33µF, montage d'un thyristor commandé par le calculateur), on peut récupérer le convertisseur fly-back (c'est à dire un transistor - valeur 20 cents - un transformateur ferrite à entrefer déjà bobiné -valeur 10 euros, un redresseur rapide - valeur 50 cents - et quelques autres composants mineurs) et surtout, le montage est déjà correctement mis au point (il le faut, quand c'est fabriqué à des centaines de milliers d'exemplaires) et fonctionne ! Par contre le circuit de

synchro flash, fonctionnellement semblable au CDI, fait avec un minuscule transformateur 6x6x6 mm ne devrait pas fonctionner plus longtemps qu'une étincelle dans une bougie, s'il y arrive (courant de sortie inférieur, rapport de transformation non adapté, sûrement pas d'isolation haute tension entre couches vu le volume, section faible de matériau magnétique, pas d'enrobage étanche, ..., j'essaiserais pourtant bien d'en faire exploser un, un jour, pour voir)

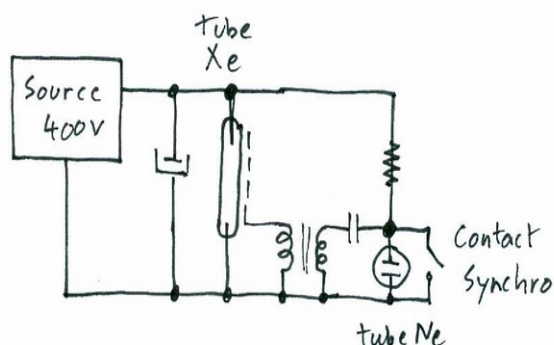
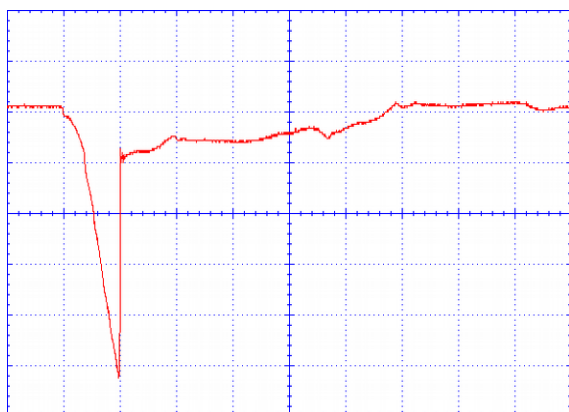


Schéma-type de flash électronique

Avec un condensateur réservoir d'énergie de $0,33\mu\text{F}/350\text{V}$, l'énergie disponible pour l'allumage est de 30mJ pour une pile de 1,5V et de 20mJ pour une pile usée à 1,2V donc plus de cent fois le mini, ça devrait le faire, même avec un carburateur à léchage !

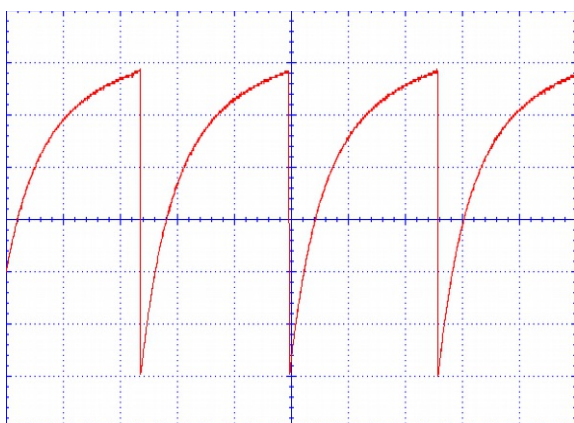
Le CDI, au rendement et pertes près, consomme surtout lorsque le condensateur demande à être rechargé, gros avantage sur le type pile-bobine où, une fois passées les $100\mu\text{s}$ (jusqu'à $400\mu\text{s}$ selon les sources) de la constante de temps (valeurs difficiles à trouver tant la dispersion des infos internet est grande, voir document annexe sur les bobines d'allumage), le reste du temps ne sert qu'à chauffer la bobine, et donc à augmenter sa résistance, avec diminution subséquente du courant, donc de l'énergie disponible. Un allumage batterie-bobine peut dissiper en chaleur 30 à 50W, l'allumage CDI fait d'un appareil photo consomme (en régime 1200rpm, 1 étincelle par tour) 250mA moyens sous 1,5V soit 0,375W, avec des pointes de courant lors de la recharge du condensateur.



Tension du CDI entre points à 13mm avec bobine chinoise ($x = 5\mu\text{s}/\text{cm}$, $y = 4,4\text{kV}/\text{cm}$) on lit amorçage 26kV, régime d'arc 4kV, durée d'arc $3\mu\text{s}$, l'étincelle est négative, l'émission d'électrons par l'électrode centrale est alors la plus favorable à l'allumage mais de moins de 15% (Source : Report 202 The sparking voltage of spark plugs by Francis B Silsbee, US Bureau of Standards, 1926), sinon il n'y aurait pas d'allumage dans les moteurs à paires de cylindres sans distributeur (2CV, BMW flat, nombreuses motos japonaises)!

Je n'ai pas mis de diode 90kV (n'existe pas à prix honorable) pour amortir la suroscillation, et pour faire comme tout le monde.

Tensions avec l'imprécision de l'adaptateur de sonde non calibré (tension/vitesse).



tension au thyristor ($x=20\text{ms}/\text{cm}$, $y=50\text{V}/\text{cm}$) au régime maxi prévu 20Hz, il reste encore 6mJ

Le circuit CDI fonctionne encore très bien au régime maxi prévu 20Hz (à une étincelle chaque tour). Il génère une énergie largement suffisante de 6mJ. Aucun échauffement mesurable (au doigt) du transfo et du transistor même après une demi-heure de fonctionnement (que je considère ici comme stabilisé), ce qui conforte bien le choix de ce convertisseur DC/DC en provenance d'appareil photo jetable. Le courant débité par la pile est alors de l'ordre de 0,7A (soit environ 0,8W pour restituer 0,12W = 6mJ à 20Hz), c'est mieux que le rendement de l'allumage batterie-bobine), ce qui augure bien de la durée de fonctionnement et il ne faudra pas s'embarrasser de boîtes de piles. La représentativité de l'écartement des pointes de test est tirée de la relation de Paschen :

$$V_{\text{claquage}} = k \times PD$$

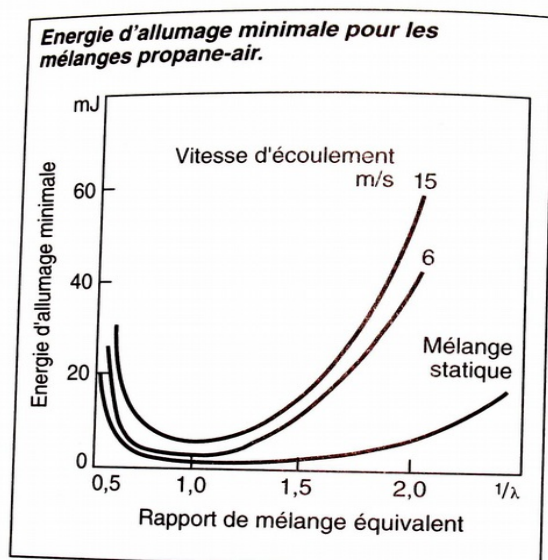
donc sensible à la pression et à la distance. On en déduit que 10mm d'air équivalent (en gros, et à forme et nature des électrodes près) à 1mm sous 10bars (par exemple : taux de compression de 10 mais toutes calories de la compression dissipées).

Rappel sur l'énergie d'allumage

Pour un mélange stoechiométrique (quantités optimales de mélange air-essence, $\lambda = 1$) il suffit de 0,2 mJ.

L'énergie d'allumage est quantifiée par la relation $J = 1/2 L I^2$ (quand I est inférieur à la valeur qui sature le noyau magnétique) avec l'énergie J en joules, l'inductance L en Henry, le courant I en ampères.. Cette énergie développée dans le bobinage primaire se libère lors de l'ouverture de l'interrupteur selon la loi

$U = -L di/dt$ et dépend donc du temps, qui lui, dépend entre autres, de la valeur du condensateur. Le courant asymptote à quelque 3A (en fait la résistance du reste du circuit et des connecteurs et interrupteurs peut atteindre près de dix fois celle de la bobine elle-même) dans une bobine classique 12V et une inductance de 10 à 30μH, l'énergie créée est d'une vingtaine de mJ, dont une partie est perdue dans l'étincelle au rupteur. La valeur de cette tension atteint couramment 200 à 300V (le fameux « extra-courant de rupture »). La bobine agit alors comme un transformateur élévateur et transforme les 300V en quelques milliers de volts nécessaires pour amorcer l'étincelle. Dès la création de l'étincelle la tension baisse à la valeur de la tension d'arc (1 à 2kV) qui est la partie utile de l'étincelle et le transfo doit résister par son impédance série, à ce quasi-court-circuit.



Extrait du manuel de technologie automobile Bosch

l'essence, constituée surtout d'heptane et du fameux octane, a des exigences très comparables, et la vitesse des gaz Terrot est considérée quasi-statique. Sa stoechiométrie n'est sans doute pas parfaite à tous les régimes.

4 – Le calculateur

fait avec un microcontrôleur Atmel série AVR : tiny13 pour :

- prix 1,5 : euro en Allemagne ²
- taille : boîtier DIP 8 pins, soit moins de 10x10mm
- performance de 9 millions d'opérations par seconde, ce qui devrait suffire
- pas de quartz ou d'horloge externe : circuit super-simple, KISS
- pas de limite autre que taille de RAM, pour les niveaux de sous-programmes
- programmation en C et assembleur
- on compile le C(ctp*) et on programme par outils logiciels gratuits sous Linux
- possibilité d'un watchdog intégré pour reprise automatique de plantages
- 6 broches d'entrée-sorties (prévision 1 pour le capteur, 1 pour l'impulsion d'allumage, 1 pour le paramétrage (plus ou moins d'avance) 1 pour le voltmètre 1 pour la sortie alarme pile du voltmètre)

Fonctionnement du calculateur

- détection et compréhension du PMH ou de la référence angulaire
- mesure de la vitesse : on exclut ici que la vitesse varie de plus d'1% d'un tour à l'autre
- détection de la mise en rotation. Avant même d'avoir lâché le décompresseur, le calculateur sait qu'on a quitté le stationnement

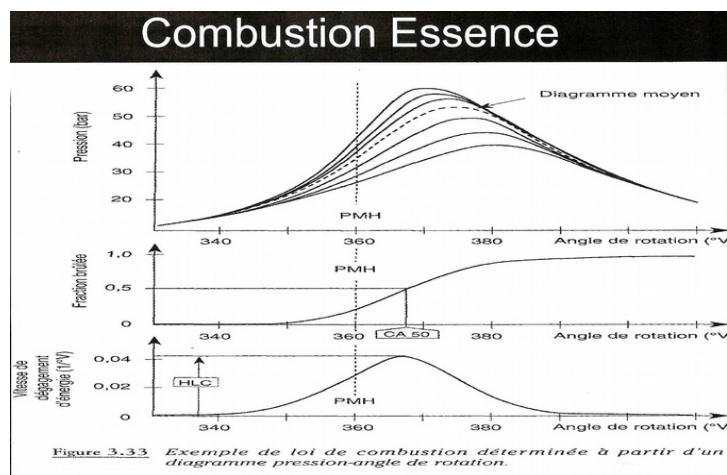
Premières étincelles Pour respecter le fonctionnement d'un moteur, le front de flamme (vitesse constante de 33m/s) partant de la bougie doit atteindre le piston une quinzaine de degrés après le PMH. Pour calculer cela, il faut savoir la longueur de la course du piston et la longueur de l'entr'axe de la bielle. Sinon, il faudra procéder par essais successifs. Les premières étincelles de démarrage arriveront donc une quinzaine de degrés après le PMH, puis avec une avance calculée selon le régime. Il faudra vérifier que le moteur Terrot-Dufaux accepte ce fonctionnement car l'étincelle est créée une fois par tour dans la version prévue : capteur sur l'axe moteur. Contrairement aux moteurs « à étincelle perdue » (flat-twins CV, motos et autos modernes sans distributeur) il y a un risque ici que la soupape automatique soit ouverte lorsque le calculateur veut un allumage tardif (démarrage et vitesse lente) et là, on a un retour de flamme garanti dans le carburateur. Il va falloir attendre le remontage du moteur et une analyse stroboscopique de la distribution en live pour l'estimer, on ne peut pas évidemment mesurer l'angle de distribution d'admission en statique. En cas de besoin avéré, il faudra soit mettre un réducteur sans jeu sur le capteur, soit mettre un capteur auxiliaire pour déterminer la phase du cycle. Un tel stroboscope à phase variable utilise un algorithme étrangement proche de celui de l'allumage : mesure du potentiomètre de commande de phase, mesure de la durée du tour précédent, génération du retard avant l'impulsion d'amorçage (1 kV).

Nombre d'étincelles. Pour faire comme avec le vibreur d'antan, et pour assurer l'allumage, les étincelles seront multiples (comme les allumages SMSM Synchronized Multi-spark Modules, prétendument ultra- « modernes ») jusqu'à un certain régime. A décider en fonction de la consommation de la pile, pour les régimes supérieurs.

Avance automatique. Sans masselottes mécaniques, mais par calcul, pour réaliser ce que fait un bon Delco : front de flamme arrivant sur le piston à PMH + 15°, ce qui me semble la seule spec pratique d'allumage, hors dépression, et qui dépend de la géométrie (longueur de chambre, course piston et entr'axe de bielle)

On ne prend pas (encore !) en compte la charge moteur par dépression d'admission, pas plus d'ailleurs que les motos anglaises ou japonaises citées (BMW n'a pas de mesure de dépression, mais le calculateur peut la déduire du régime et de la position du papillon). Peut-être dans la release 256.

² : les prix indiqués correspondent à ceux qu'un particulier peut trouver en 2011 notamment kessler-electronic en RFA. C'est pas une pub, mais c'est pour m'éviter de répondre la même chose à tous les solliciteurs !



source internet inconnue

le programme :

- tâche de fond : incrémentation permanente par interruptions du compteur 8 x 16 bits – scrutation du capteur et des entrées de réglage
- dimensionnement du compteur : pour une résolution 8 bits au régime max, il doit posséder 256 pas/tour au régime maxi 1500rpm, il doit encore compter au « ralenti » soit 60rpm où il comptera donc 6400 incréments au minimum, on peut donc utiliser un compteur logiciel 16 bits en plus du compteur 8 bits intégré (le compteur logiciel seul suffit car les 256 pas du compteur 8 bits sont bouclés en une trentaine de μ s)
- interruption compteur : augmentation du nombre de ticks
- interruption ou scrutation convertisseur A/D en mode 8bits : ratiomètre pour réglage d'avance par potentiomètre. La scrutation (polling) est bien plus rapide dans certains cas maîtrisés, que le fonctionnement par interruptions
- déroulement du programme :
- scrutation du doigt : capture au vol du compteur – RAZ compteur – calcul période (=1/régime) – calcul de l'avance
- interruption watchdog : reset automatique programme si plantage (future release)
- utilisation de l'EEPROM interne pour conserver la valeur de la pente d'avance (future release peut-être, plus vraisemblablement claquage dans la mémoire programme), lorsque les réglages auront amené à une valeur figée de l'avance.
- le déroulement du programme principal pourrait peut-être prendre plus que la durée entre deux ticks (d'où une incertitude possible de plusieurs dizaines de microsecondes, avec une incidence évidemment toutefois imperceptible sur le fonctionnement de ce vieux moteur) les comparaisons logiques se feront non sur des égalités mais sur des < ou >.

L'algorithme de calcul d'avance est super-simple et KISS

fonctionnement à vitesse de propagation de flamme constante

délai=période - temps de propagation de flamme

délai s'entend par délai après le point de référence qui sera ici PMH+15°

période s'entend par la durée (en ticks) du tour précédent

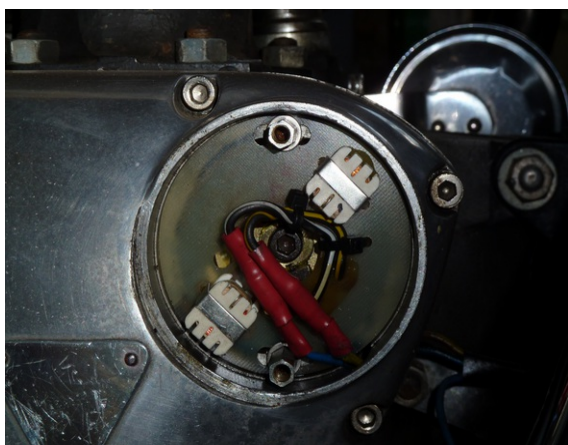
Cet algorithme ne procède ni par paliers, ni par tables pré-établies (comme par incréments de 50 rpm dans le cas Boyer-Brandsen) et de plus, est valable sur toute la plage d'utilisation.

Justifications et analyse de l'existant

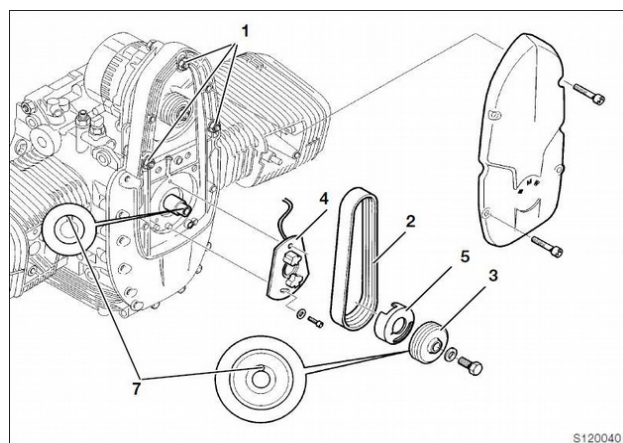
Le même type de fonctionnement que celui que j'envisage (repérage d'un point unique et calcul de l'avance pour le tour suivant) est déjà utilisé pour de nombreuses motos.

Exemple sur Triumph Bonneville 650 des années 70, l'allumage add-on moderne Boyer-Brandsen utilise deux capteurs magnétiques qui ne définissent donc qu'un seul et unique point de référence par tour puisque montés sur l'arbre à came sans avance centrifuge.

Exemple sur une BMW R1100 flat twin, où une cloche avec une encoche passe au régime moteur (et non au régime distribution) dans des fourches à effet Hall (source de nombreux ennuis déjà cités). On dispose ici d'informations supplémentaires puisque, au cours du même tour, on détecte l'instant de l'ouverture et celui de la fermeture de l'encoche (de largeur inutilement grande s'il ne s'agissait que d'une référence ponctuelle). Il y a deux cellules et la cloche n'a qu'une encoche large. Il est évident que ce n'est pas pour envoyer une étincelle quand les cylindres sont en bas, je ne vois que l'explication de pouvoir affiner la précision angulaire en disposant alors de quatre points de référence par tour. C'est le même système apparemment, sur les R1100 catalysées ou non. Le fonctionnement doit être parent de celui prévu pour la Terrot, avec avance calculée, non sur le tour complet précédent (mon algorithme), mais affinée, BMW oblige, sur le dernier quart de tour.



Allumage Boyer-Brandsen sur Triumph Bonneville



BMW R1100 flat twin

Les voitures utilisent un système plus sophistiqué, justifié peut-être (parce que si c'était autre chose, les motos seraient en retard sur les voitures) par des exigences de pollution : le capteur de rotation mesure plusieurs dizaines de dents par tour, une dent et un creux sont doublés et constituent la référence angulaire. La résolution est fine et les variations de vitesse d'un tour au suivant sont prises en compte (accélérations/rétrogradages foudroyants ou vibrations importantes)

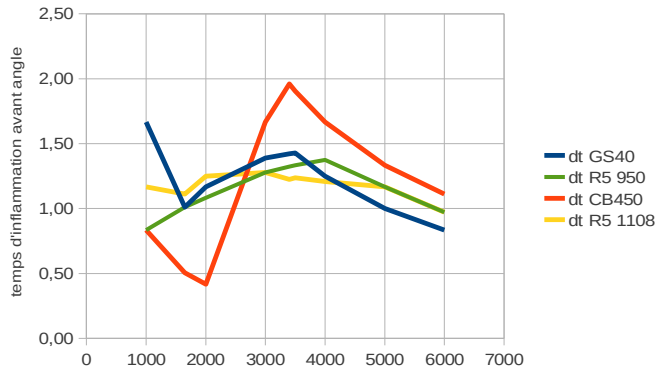
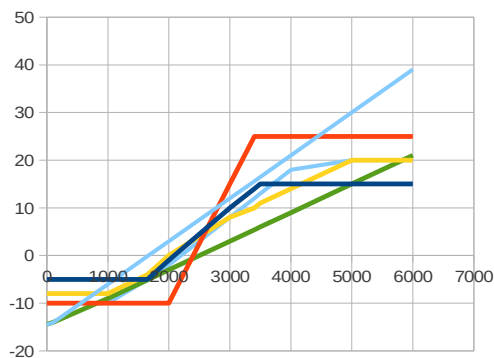
analyse de courbes d'avance (data mining rudimentaire)

L'analyse de quelques courbes d'allumages de voitures et de motos corrobore bien la constance du temps avant le point 15° environ après PMH. Ceci jusqu'aux régimes d'environ 6000rpm où la vitesse de propagation pourrait commencer à changer (meilleur adiabatisation). Le moteur Terrot n'en aura pas besoin.

A gauche, les droites verte et bleue (1ms avt +15 et 1,5ms avt +15) correspondent à un allumage théorique allumant 1 et 1,5ms avant le

rpm	suzuki gs40	honda cb450	R5 TL 1108	R5 TL 950	1ms avt +15°	1,5ms avt +15°/dt GS40	dt CB450	dt R5 1108	dt R5 950	
0	-5	-10	-8	-10						
100	-5	-10	-8	-10	-14,40	-14				
1000	-5	-10	-8	-10	-14,00	-14	1,67	0,83	1,17	0,83
1650	-5	-10	-4	-5	-9,00	-6	1,01	0,51	1,11	1,01
2000	-1	-10	0	-2	-5,10	0	1,17	0,42	1,25	1,08
3000	10	15	8	8	-3,00	3	1,39	1,67	1,28	1,28
3400	14	25	10	12	3,00	12	1,42	1,96	1,23	1,32
3500	15	25	11	13	5,40	16	1,43	1,90	1,24	1,33
4000	15	25	14	18	6,00	17	1,25	1,67	1,21	1,38
5000	15	25	20	20	9,00	21	1,00	1,33	1,17	1,17
6000	15	25	20	20	15,00	30	0,83	1,11	0,97	0,97
7000					21,00	39				
	25	15					15	15	15	15

angle pression max →



passage à +15° après PMH

Il me faut trouver des courbes d'allumage, et les allumages récents à calculateur n'en publient pas, il reste donc les moteurs anciens. Pour les allumages de voiture que j'ai trouvés, on trouve bien un temps d'inflammation relativement constant, entre 1 et 1,5ms et qui correspond à un angle d'application de la pression sur le piston de 15°. La courbe d'avance dont je dispose avec la courbe la plus élaborée (double cassure par deux jeux de masselottes à poids différent) est celui de la R5TL 1108 cm3, proche de 1,3ms avant +15°. Pour les motos dont on peut encore trouver les courbes, il s'agit de motos sorties en 1976 (Suzuki GSX400 avec CDI) ou 1965 environ (Honda CB450). La durée de temps d'inflammation apparaît avec une plus grande dispersion mais les courbes moto sont quelque peu rudimentaires et il faut appliquer une avance initiale jusqu'à 25° (GSX400) pour en tirer une signification.

Ceci conforte bien mon algorithme ! Il suffira de connaître (ou d'ajuster) la distance mini bougie-piston, assez grande dans le cas Terrot-Dufaux.

Prototypes

Le premier proto fait avec une ancienne bobine d'allumage de Mobylette, sort des étincelles de 10mm voir photo et ce, jusqu'à une trentaine de Hz (le besoin sera une vingtaine de Hz), avec une bobine chinoise de scooter moderne (6€ en UK), on atteint 20mm soit 60 kV. En fait la tension de claquage (amorçage de l'étincelle) dépend de la pression dans le cylindre au moment de l'étincelle, voir paragraphe CDI.

Pour empêcher les aléas de fonctionnement dus à la forte génération de parasites du CDI, la commande du thyristor sera faite au travers d'un transformateur d'impulsion de rapport 1:1. Une bobine bipolaire de déparasitage de récupération d'alimentation d'ordinateur répond parfaitement à ce besoin et garantit une isolation entre les enroulements (par cales plastique) de 400V minimum. Ce transfo passe correctement les impulsions du processeur (5V) jusqu'à une durée de 20µs, il sera utilisé pour 1 à 2 µs. Un coupleur opto-électronique est encore plus petit, mais nécessitera une adaptation du schéma de commande du thyristor.

Prototypes

premier proto

sur la photo du premier montage d'essai, on voit

- la partie allumage CDI en haut à droite (bobine + circuit imprimé)
- la partie moteur électrique avec un disque optique au milieu en haut (la petite électronique à coté du moteur est un potentiomètre électronique, à PWM autour d'un microcontrôleur de la même famille, ATtiny13 pour les intimes)
- un stroboscope de mesure en bas à gauche, et devinez quoi ! Fait avec un autre appareil photo jetable, bien sûr !

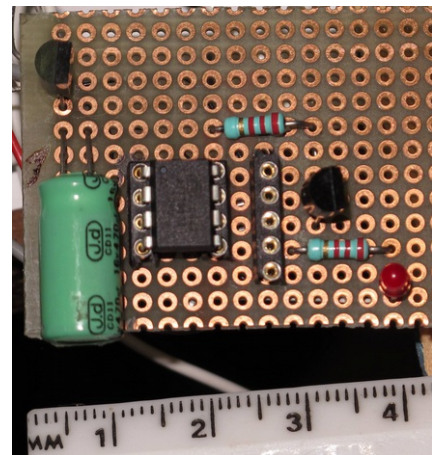
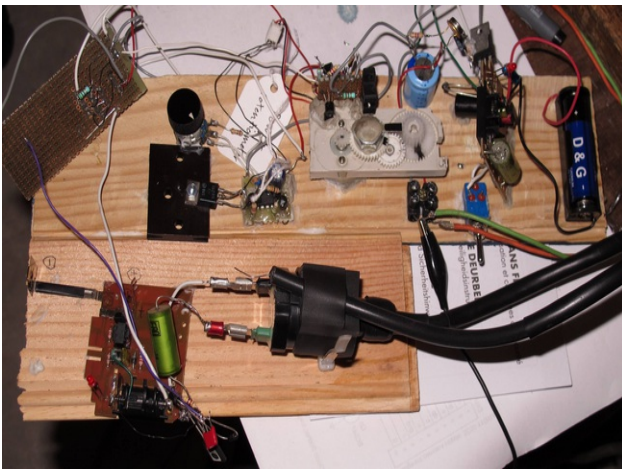


Premier prototype



étincelles avec
bobine de
Mobylette

second proto

**le CALCULATEUR !**

le montage d'essai suivant, plus représentatif mais sans volant d'inertie
Haut g : calculateur, haut milieu : moteur du capteur et sa commande,
haut dr strobo ; bas g CDI, bas milieu : bobine chinoise

Ce papier est en pré-release et sera finalisé après validation, au moment du rallye des clés à molette.

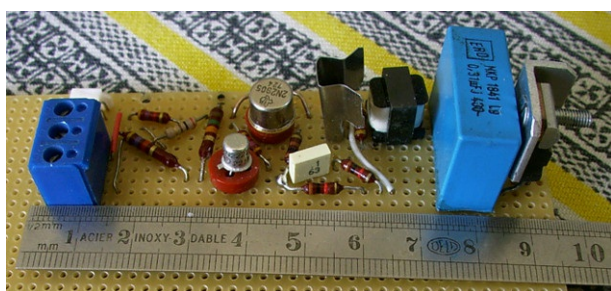
Novembre 2011,

Projet conçu dans la joie et la bonne humeur par Zibuth27, il y a peu dépanneur de fusées, plus officiellement chef d'un groupe d'ingénieurs experts « technologues » (voire technologistes). Quelques contrepèteries (parfois signalées par : ctp*) ont pu, bien involontairement bien sûr, se glisser dans le texte.

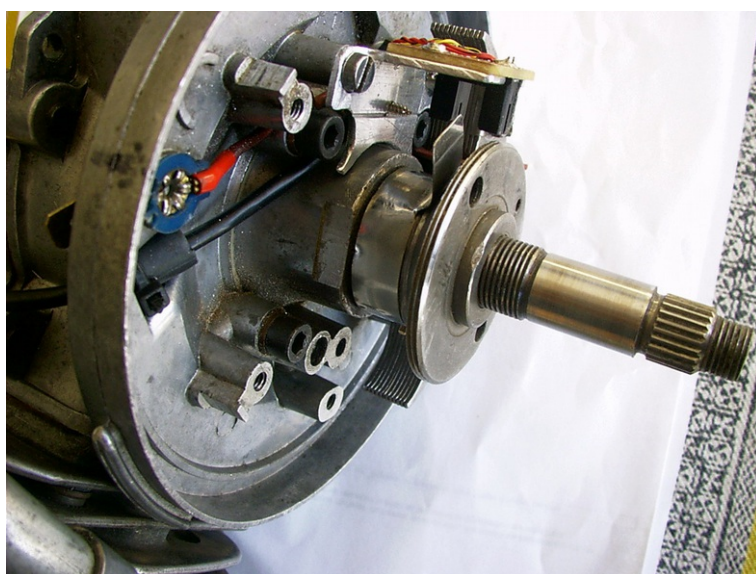
Reprise du projet : juin 2014

Suite à des événements dramatiques et importants, le projet a été stoppé. Après le décès de Didier Rousier, la moto est revenue à R qui l'a restaurée et qui la remettra au futur musée Terrot à Dijon lorsque celui-ci verra le jour, selon les volontés exprimés par Didier Rousier. L'allumage a disparu dans un incendie de mon labo d'électronique, c'est donc une nouvelle version qui voit le jour.

Entretemps, j'ai aidé JBZ qui a lu ce papier et voulait un CDI sur son Cady Motobécane. JBZ s'est révélé doué et consciencieux et a pu réaliser à distance son CDI basé sur un flash non jetable, peu différent du mien, et marchant sur deux piles 1,5V. Ce fonctionnement sur piles a causé un papier sur les capacités vraies (= dans des conditions que j'utilise) pour estimer la quantité des boîtes de piles à emporter (ctp* devenue célèbre dans des études préliminaires de gros engins à charge méchante partant sous l'eau, type ultima ratio regis) a voir sur mes sites de banlieue (ctp* again)



Allumage CDI de JBZ



Le capteur dans le volant Cady

Allumage Terrot

Un appareil photo jetable Fujifilm est récupéré pour être monté sur la Terrot 1906.

Alimentation

Pour toujours disposer d'une alimentation optimum, j'ai décidé d'utiliser une source primaire de 6V, toujours sur piles. Le flash sera alimenté par un convertisseur DC/DC, SMPS en découpage buck. Ces gros mots décrivent un montage chinois ajustable, qui coûte 2,5\$ qui fournit 1,4V en permanence au CDI et dont l'impédance faible permet un démarrage plus rapide après chaque étincelle : il peut monter à plus haut régime puisque le CDI fournit encore 9mJ à 65Hz (4000rpm, bien au-delà des vitesses autorisées - ou plutôt atteignables - pour cette moto). Le flash d'origine fonctionne avec une pile 1,5 taille AA, mais la tension s'écroule à 1,1V à cause du courant important demandé, pour remonter à 1,25 V, je le booste un peu à 1,4V mais pas trop, sinon on risque des tensions trop élevées et une surchauffe du transistor.

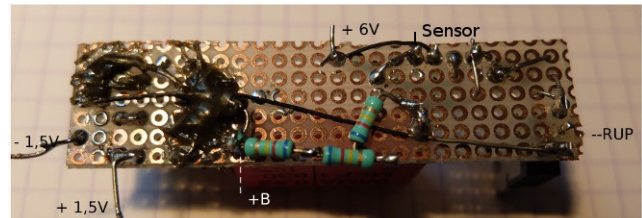
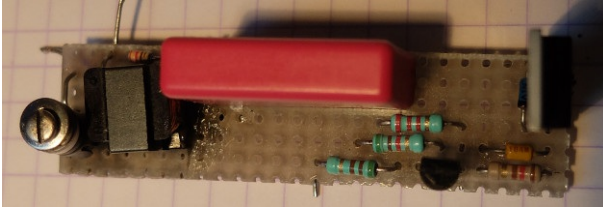
Ce convertisseur buck travaille à puissance constante, même si la tension de la source primaire baisse, cela permet aussi de monter si besoin une LED d'alarme tension avec indication plus fiable. Lorsque la tension pile monte, le courant diminue, ce comportement anti-ohmique est dû au fonctionnement à puissance constante du SMPS (switching mode power supply)

Comme dans la réalisation de JBZ, les composants du flash d'origine ont été démontés pièce à pièce, et remontés sur la plaquette epoxy définitive.

Il est inutile et dangereux (pour le montage) de chercher à monter au-delà des 1,6V d'alimentation. La tension secondaire serait alors trop forte, et il faudrait une bobine d'allumage 24V. Si on monte trop la tension, la tension de bougie augmente aussi, et il faudrait en augmenter l'écartement, peu pratique sur des vieilles bougies. Avec 1,4V la haute tension secondaire est de 350V, proche de la surtension

normale du primaire d'une bobine d'allumage 6 ou 12V. L'allumage est à étincelle perdue : il produit une étincelle par tour,

Dans ces conditions l'échauffement du transistor d'origine (références inconnues) est faible, même à vitesse max : c'est un excellent transistor de performances peu courantes, bien choisi par le fabricant. La montée en température asymptote à +20°C au-dessus de l'ambiante, très acceptable, surtout avec un radiateur rudimentaire de précaution. Un TIP41 monté à sa place s'échauffe plus, je reviens donc au transistor d'origine en boîtier plastique TO-92 (mais avec un brochage différent du classique E-B-C.

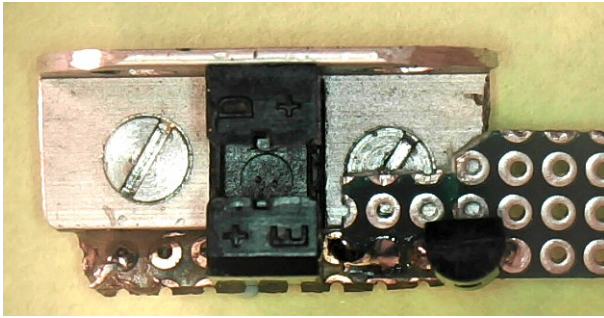


Effet de l'alimentation à vitesse max (60Hz) :

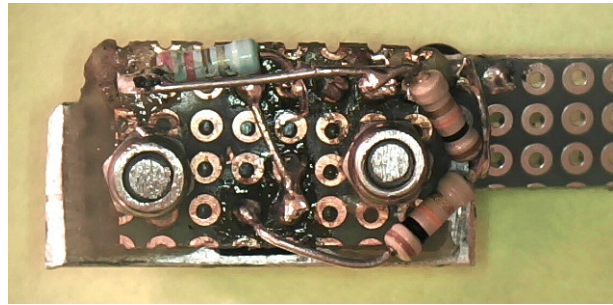
la tension secondaire descend à 300V et la tension primaire remonte rapidement à 1,6V. Avec la pile d'origine (neuve, la tension secondaire atteint à peine 250V (6,2 mJ) et la tension pile remonte à 1,3V seulement, à ce régime, elle ne durera pas longtemps. Le module SMPS est donc pleinement justifié ici.

Capteur optique

Capteur à fourche infrarouge.



Capteur dessus E=LED D=photodiode

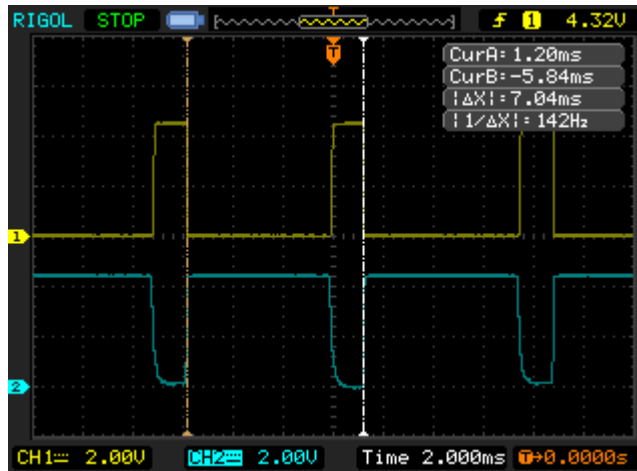


Capteur dessous



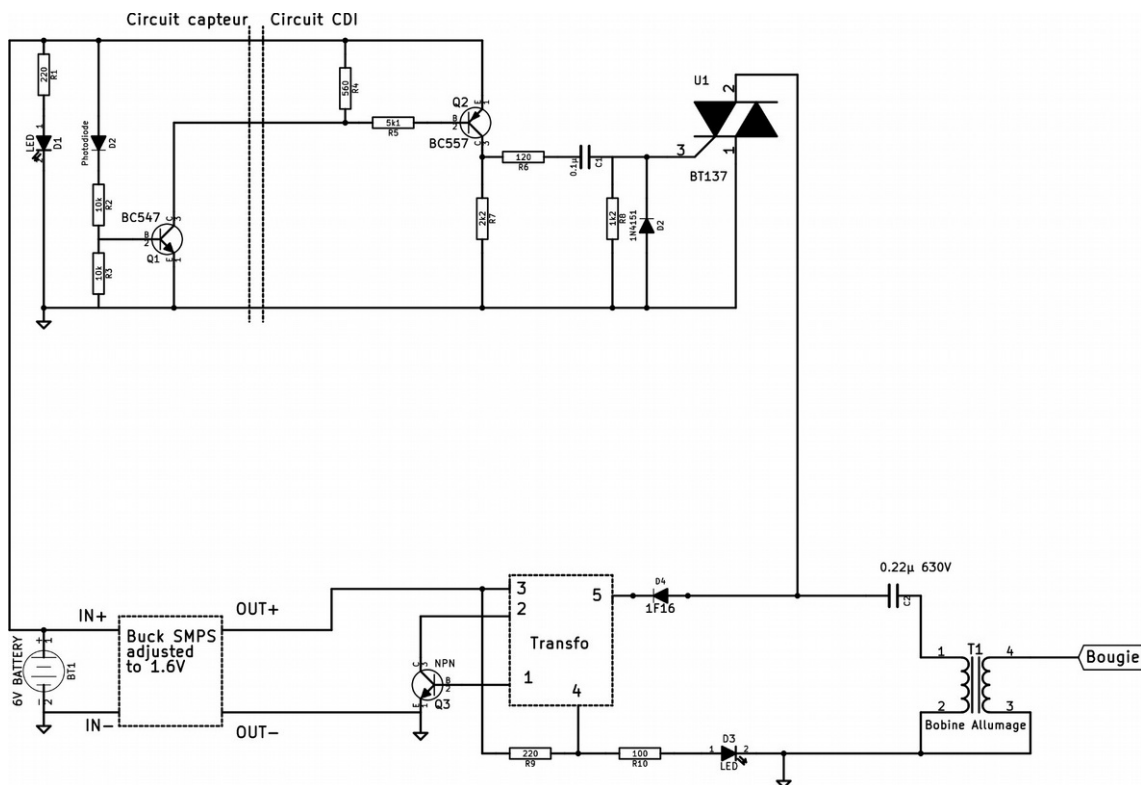
Fourche du capteur, de côté

Signaux
capteur optique



bleu=sortie photodiode, jaune=sortie transistor 220ohms

Schéma



Le capteur est alimenté sur la tension 6V de la pile. Il est relié par 3 fils au reste du CDI. Le schéma est conçu pour une sécurité classique d'élément déporté : un court-circuit à la masse ne doit pas être destructif pour les composants, il y a simplement consommation le temps du court-circuit par la résistance de charge R4 de 560 Ω. On peut éventuellement protéger la pile par un fusible ou un polyswitch, c'est surtout nécessaire si la source 6V est une batterie.

L'impulsion de déclenchement de l'étincelle apparaît lorsque le secteur opaque sort de la fourche optique.

Le convertisseur du flash fournit une tension négative (imposée par le fonctionnement du convertisseur, et par la non-isolation du secondaire), reliée à l'alimentation pile. Il n'est donc pas possible d'inverser la polarité de la haute tension. Il faut donc utiliser un triac dans son quadrant G(+) T2(-). Un BT137 aura alors une sensibilité de 8mA, largement fournis par le circuit de mise en forme.

Les endroits sensibles (haute tension, éléments pouvant bouger) sont protégés et immobilisés par une colle époxy. La haute tension de 400V demande une isolation de 0,8mm (norme IPC-A-610 table 6,1 condition B4 : conducteur externe isolé polymère toute altitude ; ou 0,25mm condition B1 : conducteur interne). La distance inter-pastilles est de 0,36mm, il faut donc se mettre en conditions de pistes internes en recouvrant la distance inter-pastilles des deux faces par de l'époxy, après nettoyage des restes de flux à l'isopropanol, et grattage de la surface.

L'écartement d'origine est de 0,49 mm avec un vernis-épargne (IPC 610 classe jouets, condition B4), non conforme.

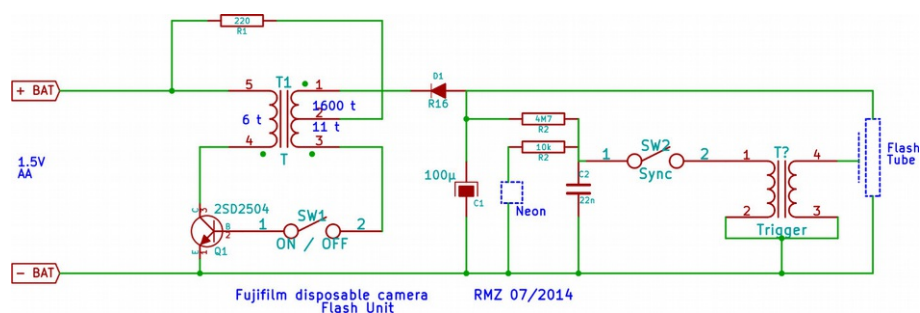
Flash électronique appareil jetable Fuji

transformateur avec ferrite de 8x10x5 (le modèle Carrefour fait 8x8x4, sensiblement plus petit, mais il fonctionne à 26kHz)

le transistor est un 2SD2504 en boîtier TO-92 : transistor musclé (10V de tension collecteur max, tension de saturation de 0,28V, courant de 5A et gain de 800 !! et dans un boîtier plastique TO-92. il a l'air de faire l'objet de commercialisation spéciales, ça sent le soufre : *Request for your special attention and precautions in using the technical information and semiconductors described in this material*
 (1) An export permit needs to be obtained from the competent authorities of the Japanese Government if any of the products or technologies described in this material and controlled under the "Foreign

Exchange and Foreign Trade Law" is to be exported or taken out of Japan.)

Le convertisseur fonctionne à 16kHz et fournit 400V lorsqu'il est alimenté sous 1,5V



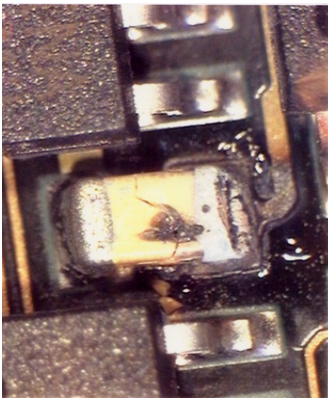
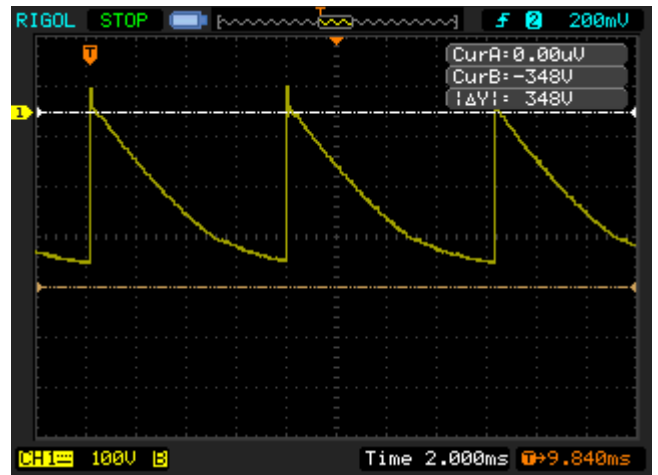
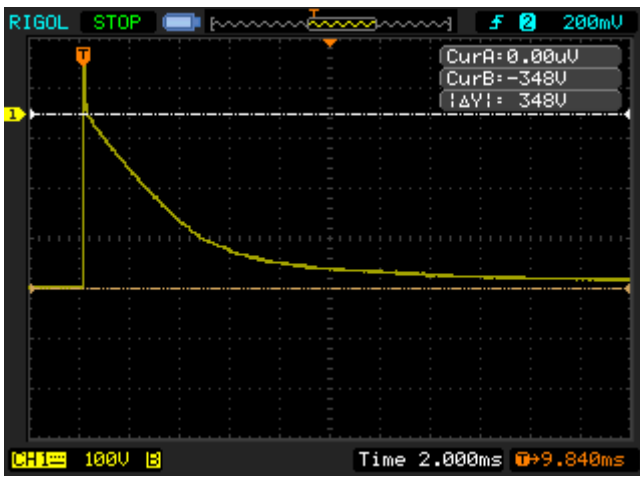
Le fonctionnement du convertisseur **n'est pas en flyback** (flyback = conduction du transistor pendant un temps, avec stockage de l'énergie sous forme magnétique dans le transformateur, puis restitution lors de la phase d'ouverture du transistor, ce qui permet une tension de sortie supérieure au rapport de transformation). Ici, la diode de sortie conduit uniquement pendant la conduction du transistor, et une partie du courant de sortie passe même par la base du transistor !

Le condensateur CDI est un polypropylène (autocicatrisant, contrairement aux céramiques qui explosent parfois, voir photo) de $0,22\mu\text{F}$ ce qui fait une énergie de 13mJ.

L'alimentation buck est réglée à 1,4V, la tension de sortie atteint alors 350V. La consommation des piles 6V est de 90mA à vide (à comparer aux ampères de l'allumage batterie-bobine) et atteint 800mA à 100Hz (3000rpm)

La température du transistor (équipé d'un radiateur minimaliste) atteint 30°C au-dessus de l'ambiante à 100Hz : OK





condensateur céramique explosé